

Studies of millimeter-wave imaging array for the GAMMA 10 tandem mirror

| | |
|----------|---|
| 著者 | Oyama Naoyuki |
| 内容記述 | Thesis (Ph. D. in Science)--University of Tsukuba, (A), no. 2064, 1999.3.25 |
| 発行年 | 1999 |
| その他のタイトル | ガンマ10タンデムミラーにおけるミリ波イメージングアレイの研究 |
| URL | http://hdl.handle.net/2241/5465 |

| | |
|-------------|---|
| 氏 名 (本 籍) | おお やま なお ゆき 大 山 直 幸 (茨 城 県) |
| 学 位 の 種 類 | 博 士 (理 学) |
| 学 位 記 番 号 | 博 甲 第 2,064 号 |
| 学位授与年月日 | 平成11年 3 月 25 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 |
| 学 位 論 文 題 目 | Studies of Millimeter-Wave Imaging Array for the GAMMA10 Tandem Mirror (ガンマ10タンデムミラーにおけるミリ波イメージングアレイの研究) |
| 主 査 | 筑波大学教授 理学博士 玉 野 輝 男 |
| 副 査 | 筑波大学教授 理学博士 三 明 康 郎 |
| 副 査 | 筑波大学助教授 工学博士 間 瀬 淳 |
| 副 査 | 筑波大学助教授 理学博士 北 條 仁 士 |

論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、ミリ波帯における二次元イメージングアレイ（撮像装置）の開発、同装置をガンマ10タンデムミラーの干渉計および電子サイクロトロン放射（Electron Cyclotron Emission : ECE）測定に適用した結果を記述したものである。

直線型装置であるガンマ10は、軸方向閉じ込めを改善するため電位閉じ込めを併用している。この電位形成のため、ガンマ10ではプラグ部に基本周波数の電子サイクロトロン共鳴加熱（Electron Cyclotron Resonance Heating : ECRH）を印加している。ECRHによる電位形成の物理機構解明のため実験・理論両面からのアプローチがなされているが、十分には明らかにされていない。そこでプラグ部周辺のプラズマを対象としたミリ波イメージングアレイを設計・製作した。

入射光学系は、アンテナから放射される電磁界に対しガウスビーム伝搬理論を用いて設計した。受光光学系は、プラズマ中心に幾何学的焦点を合わせ、検出器面上に結像させるもので、光線追跡法を用い球面収差ができるだけ小さくなるよう設計されている。検出器は、大きさ38.1mm×38.1mm、厚さ1mmの石英基板上にフォトリソグラフィにより4×4配列のボウタイアンテナを蒸着し、各アンテナの給電点にビームリード型GaAsショットキーバリアダイオードを接着したものを用いた。

干渉計は二台の発振器を用いるヘテロダイン型で、入射波と局部発振波との間に150MHzの周波数差を設けてあり、中間周波数に変換した後クォードラチャー位相検出を行っている。位相分解は1/200フリッジ、線密度にして $2.6 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ である。また、ラジオメータとしても構成されており、プラズマから放射されるECEの計測が可能である。本実験では、干渉計とECE受信機とで異なる中間周波数に設定しているため、密度計測と正常波のECE計測を同時に行うことが可能となっている。

以下に本研究において得られた成果を要約する。

1. ガンマ10セントラル部で生成されたプラズマの中で、ロスコーン領域にあるミラー捕捉されない粒子は、プラグ/バリア部を通過しエンド部へと流出していく。このときプラグ部で観測される粒子はエンド部に向かう粒子であるため、端損失粒子と同一となる。このようなプラズマに対し密度分布計測を行った結果、セントラル部の分布とプラグ部の分布が良く対応していることがわかった。ECRHが印加された場合、閉じ込め電位形成によりセントラル部プラズマに対するロスコーン領域が減少するため、端損失粒子が減少する。実際に閉じ込め電位の外側で観測した場合、ECRH印加直後電子密度は大きく減少することが分かった。また、密度が減少してい

る領域はECRHの放射パターンと良く対応しており、実効的な閉じ込め電位の存在領域と矛盾しないことを確認した。

2. ECE計測を行った結果、超高温電子からの放射が支配的であることが明らかになった。また、正常波および異常波の放射信号を計測し、両者の比から放射に寄与する超高温電子温度を50-100keVと評価することができた。超高温電子はミラー捕捉されており、サーマルバリア電位の形成に重要な役割を果たしている。ガンマ10では基本波加熱（プラグECRH）と第2高調波加熱（バリアECRH）の組み合わせで超高温電子を生成している。本装置によりECEの二次元分布を計測したところ、プラグECRH、バリアECRH単独で印加した場合に比べ、二つを同時に印加した場合に非常に大きな放射信号を観測した。これは基本波加熱と高調波加熱では共鳴条件が異なるため、同時に印加することでより高い温度まで加熱されることを示している。また、観測された信号は超高温電子密度に比例し、その強度はECRH出力に比例していることが明らかになった。

3. プラグ部揺動成分の解析を行った。ECRH印加により電位が形成された状態で観測される揺動は、軸方向に波数をもたない $E \times B$ 回転により駆動されるフルートモードであるとみなされた。一方、ECRHが印加されない時間帯に観測される揺動は、径方向各チャンネルの中で密度勾配の大きな位置で最も大きいことから、密度勾配より駆動される反磁性ドリフトモードとみなされた。これらの揺動はセントラル部で観測した揺動のスペクトルと一致しており、セントラル部で励起された揺動が各部に伝搬していると考えられる。

審 査 の 結 果 の 要 旨

新しい測定法であるミリ波二次元イメージングアレイをガンマ10装置プラグ部プラズマに適用し、プラズマの基本的パラメータである電子密度・温度の三次元分布測定を実現、閉じ込め電位形成の対応を様々な角度から明らかにした本研究の成果は、タンデムミラー閉じ込めの研究に重要な貢献をなすものである。また、提出された論文の内容の一部はすでに学術雑誌に掲載されており、関連する論文に引用されている。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。